

S A I C 1 8 5 5 0

(54) Device for the epitaxial growth of substances from the gas phase

The device for the epitaxial growth of substances from the gas phase comprises a reactor (1) that has an inlet (2) at the top for introducing a gas containing a starting material, and a holding device (3) that is arranged in the rear segment of the reactor (1), seen in the flow direction. The holding device (3) has essentially a conical or polygonal pyramid shape with an upper guide segment (4) and a lower substrate holder segment (5), where the diameter of the holding device (3) increases to a greater degree in its lower segment than in its upper segment (Figure 2).

1 1

---

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND

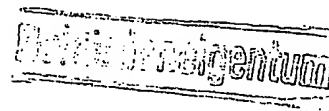


DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Off nlegungsschrift  
⑪ DE 3838 164 A 1

⑤1 Int. Cl. 4:  
C23C 16/44  
C 30 B 25/02  
// C30B 29/06,29/42

⑳ Aktenzeichen: P 38 38 164.8  
㉑ Anmeldetag: 10. 11. 88  
㉒ Offenlegungstag: 24. 5. 89



DE 3838164 A1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
11.11.87 JP P 285938/87

⑦1 Anmelder:  
Sumitomo Chemical Co., Ltd., Osaka, JP

⑦4 Vertreter:  
Vossius, V., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Tauchner, P.,  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Heunemann, D., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat.; Rauh, P., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.;  
Hermann, G., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte,  
8000 München

⑦2 Erfinder:  
Maeda, Takayoshi, Nabari, Mie, JP; Hata, Masahiko,  
Toyonaka, Osaka, JP; Zempo, Yasunari, Takatsuki,  
Osaka, JP; Fukuhara, Noboru; Takata, Hiroaki,  
Ibaraki, Osaka, JP

⑤4 Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase

Die Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase umfaßt einen Reaktor (1), der oben einen Einlaß (2) zum Einbringen eines ein Ausgangsmaterial enthaltenden Gases und eine Aufnahmeeinrichtung (3) aufweist, die in dem in Strömungsrichtung gesehen hinteren Abschnitt des Reaktors (1) angeordnet ist. Die Aufnahmeeinrichtung (3) hat im wesentlichen eine konische oder polygonale Pyramidenform mit einem oberen Leitabschnitt (4) und einem unteren Substrat-Halteabschnitt (5), wobei der Durchmesser der Aufnahmeeinrichtung (3) in seinem unteren Abschnitt in einem größeren Maß zunimmt als in seinem oberen Abschnitt (Figur 2).

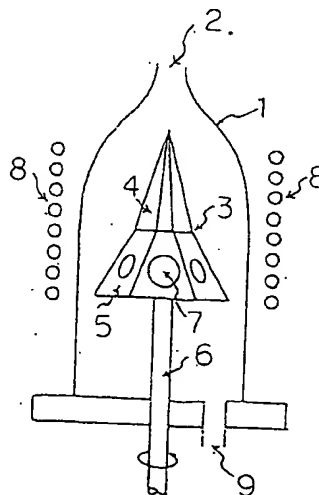


FIG. 2

DE 3838164 A1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Aufwachsen einer dünnen Halbleiter-Schicht aus der Gasphase. Die vorliegende Erfindung betrifft insbesondere eine Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase, in der Turbulenzen des ein Ausgangsmaterial enthaltenden Gases, das durch einen Zugangs- kanal in den Reaktor eingeführt wird, vermieden werden und so die Wirksamkeit des Ausgangsmaterials und die Gleichmäßigkeit der Dickenverteilung der dünnen Halbleiterschicht, die auf ein Substrat aufgebracht wird, verbessert werden.

Schichten von Halbleitern, wie Silicium oder Elementen der Gruppen III und V (wie Galliumarsenid) können in der Gasphase aufwachsen durch Einleiten eines ein Ausgangsmaterial enthaltenden Gases in einen Reaktor von oben und Reaktion oder Zersetzung des Materials auf einem Substrat, das auf einer beheizten Aufnahmeeinrichtung gehalten wird. Für diesen Zweck sind verschiedene Vorrichtungen vorgeschlagen worden, mit denen dünne Halbleiter-Schichten durch Aufwachsen aus der Gasphase gebildet werden können. Ein Beispiel einer solchen bekannten Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase ist in Fig. 1 dargestellt. Es umfaßt einen faßartigen oder glockenförmigen Reaktor 1 mit einem Einlaß 2 an seinem oberen Ende, durch den ein ein Ausgangsmaterial enthaltendes Gas eingeleitet wird, und einer faßförmigen Aufnahmeeinrichtung 3 mit einer im wesentlichen konischen oder polygonalen Pyramidenform, die unterhalb des Einlasses 2 angeordnet ist und deren Durchmesser zu dem stromabwärts gerichteten Abschnitt des Reaktors 1 zunimmt. Diese Aufnahmeeinrichtung 3 wird von einer drehbaren Welle 6 gehalten und besteht im wesentlichen aus einem oberen Leitabschnitt 4 und einem unteren Substrat-Halteabschnitt 5. Auf den schrägen Flächen des Halteabschnitts 5 sind mehrere Substrate 7 plaziert. Um den Reaktor 1 ist eine Hochfrequenz (HF) Induktionsspule 8 angeordnet und die Aufnahmeeinrichtung 3 wird auf eine bestimmte Temperatur durch HF-Induktionsheizung mit dieser Spule 8 erhitzt. Das ein Ausgangsmaterial, z.B. einen Stoff oder eine Verbindung enthaltende Gas wird zusammen mit einem Trägergas in den Reaktor 1 durch den Einlaß 2 an seinem oberen Ende eingebracht und es wird in der Nähe der Oberfläche der beheizten Aufnahmeeinrichtung 3 einer Pyrolyse-Reaktion unterzogen, wodurch sich eine dünne Halbleiter-Schicht auf den Substraten 7 bildet bzw. aufwächst. Das an der Reaktion nicht teilgenommene Ausgangsmaterial wird zusammen mit dem Trägergas durch eine Auslaßöffnung 9 ausgegeben.

Bei Versuchen mit der zuvor beschriebenen faßartigen Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase wurden folgende Nachteile festgestellt: Ein großer Teil des Ausgangsmaterials wurde ohne an der Reaktion teilgenommen zu haben, durch die Auslaßöffnung abgezogen und die Dickenverteilung der aufgetragenen Schicht war sehr ungleichmäßig.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase bereitzustellen, mit der eine größere Ausnutzung des Ausgangsmaterials erreicht wird, und mit der eine gleichmäßigere Dickenverteilung der aufgewachsenen Schicht erreicht wird.

Die vorliegende Erfindung geht von dem Grundgedanken aus, durch geeignete Formgebung der Aufnahmeeinrichtung und des Reaktors den Gasstrom so zu

beeinflussen, das die Ausnutzung des Ausgangsmaterials verbessert und die Beschichtung gleichmäßiger wird.

Bei der oben beschriebenen bekannten Vorrichtung nimmt der Durchmesser der Aufnahmeeinrichtung in Richtung zur Basis mit einem zunehmend geringeren Maß zu, wodurch der Hauptstrom der zwischen der Innenfläche des Reaktors und der Außenfläche der Aufnahmeeinrichtung fließenden Gase durch die Trägheitskraft näher zur Reaktorwand kommt und der größere Teil des Ausgangsmaterials ohne Reaktion durch die Auslaßöffnung abgegeben wird, und dadurch dessen Ausnutzung verringert wird. Außerdem hat diese bekannte Vorrichtung den Nachteil, daß der Hauptstrom der Gase besonders auffällig schräg zur Reaktorwand fließt, da die Ausdehnung des Gasflusses, dessen kinematische Viskosität bei höheren Temperaturen vergrößert werden, an der Seite der Aufnahmeeinrichtung größer ist als an der Seite der Reaktorwand, was zu einer größeren Abnahme des Ausnutzungsgrades des Ausgangsmaterials führt. Zusätzlich besteht bei dieser bekannten Vorrichtung die Gefahr, daß sich im Raum zwischen der Reaktorwand und der Aufnahmeeinrichtung eine natürliche Konvektion einstellen kann, d.h. die Bildung eines aufsteigenden Stroms entlang der Oberfläche der Aufnahmeeinrichtung, wird stärker, was zu einer Ungleichmäßigkeit der Dicke der aufwachsenden Schicht führt, wodurch es sehr schwierig ist, ein Profil mit einer abrupt angrenzenden Zwischenschicht zu erhalten.

Die erfindungsgemäße Lösung besteht in einer Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase mit einem faßartigen Reaktor, der oben einen Einlaß für das Einbringen eines ein Ausgangsmaterial enthaltenden Gases und eine Aufnahmeeinrichtung aufweist, die im in Strömungsrichtung gesehen, hinteren Abschnitt des Reaktors angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmeeinrichtung im wesentlichen eine konische oder polygonale Pyramidenform aufweist, mit einem oberen Leitabschnitt und einem unteren Substrat-Halteabschnitt, wobei der Durchmesser der Aufnahmeeinrichtung in seinem unteren Abschnitt in einem größeren Maß zunimmt als in seinem oberen Abschnitt.

Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden die Probleme, die bei der oben beschriebenen bekannten Vorrichtung auftreten, vermieden und es können durch die Verwendung einer bestimmten Form für die Aufnahmeeinrichtung eine bessere Ausnutzung der Ausgangsmaterialien und eine gleichmäßige Schichtdicke der aufgewachsenen Schicht erreicht werden.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Beispielen und der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht einer bekannten Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase,

Fig. 2–4 drei verschiedene erfindungsgemäße Ausführungsformen einer Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase,

Fig. 5–6 zwei verschiedene Beispiele von Ausgestaltungen der Aufnahmeeinrichtung zur Verwendung in der Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase gemäß der vorliegenden Erfindung, und

Fig. 7 ein Diagramm, in dem die Schichtwachstumsgeschwindigkeit über die Position auf den Substrat-Oberflächenprofilen, die erhalten werden, wenn Halbleiter-Schichten mit den in den Fig. 1 und 3 gezeigten Vorrichtungen aus der Gasphase abgeschieden werden.

In Fig. 2 ist schematisch eine Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase gemäß einer

ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. In einen Reaktor 1 wird durch einen Einlaß 2 ein Ausgangsmaterial, z.B. ein Stoff oder eine Verbindung zum Aufwachsen aus der Gasphase zusammen mit einem Trägergas eingeleitet. Der Reaktor 1 enthält eine Aufnahmeeinrichtung 3 mit einer polygonalen Pyramidenform, die gehalten wird von einer drehbaren Welle 6. Die Aufnahmeeinrichtung besteht im wesentlichen aus einem oberen Leitabschnitt und einem unteren Substrat-Halteabschnitt 5, dessen Durchmesser in einem stärkeren Maß zunimmt, als der des Leitabschnitts 4. Die Aufnahmeeinrichtung 3 ist geeignet durch Hochfrequenzinduktion mittels einer außen gewickelten HF-Spule 8 aufgeheizt zu werden. Der Hauptstrom des in den Reaktor 1 eingeleiteten Gases fließt nahezu als ein laminarer Fluß in dem Raum zwischen dem Leitabschnitt 4 der Aufnahmeeinrichtung 3 und der Innenwand des Reaktors 1, insbesondere in der Nähe der Außenfläche des Leitabschnitts 4. Im Ergebnis findet die thermische Zersetzungsreaktion des Ausgangsmaterials in der Nähe der Oberflächen von Substraten 7, die auf dem Substrat-Halteabschnitt 5 angeordnet sind, statt, wodurch eine dünne Schicht des Halbleiterkristalls auf den Substraten 7 aufwächst. Vorzugsweise werden die Substrate 7 in einem Bereich auf den schrägen Flächen des Halteabschnitts 5 angeordnet, der von oben gesehen, konzentrisch mit der Mittenachse der Aufnahmeeinrichtung 3 ist. Die Gase, die nicht an der Reaktion teilgenommen haben, und die Gase, die während der Reaktion erzeugt worden sind, werden aus dem Reaktor 1 durch eine am Boden befindliche Auslaßöffnung 9 abgegeben.

Das Maß, mit dem der Durchmesser der Aufnahmeeinrichtung zunimmt, wird durch den Gradienten  $a$  eines bestimmten Punktes auf der Oberfläche der Aufnahmeeinrichtung angegeben, der wie in Fig. 6 dargestellt, von der drehbaren Welle 6 aus gemessen wird.

In der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase werden Turbulenzen erfolgreich vermieden, die andernfalls in der Strömung des ein Ausgangsmaterial enthaltenden Gases in der Nähe der Aufnahmeeinrichtung 3 erzeugt werden. Mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden sowohl die Ausnutzung des Ausgangsmaterials als auch die Gleichmäßigkeit der Dicke einer aufgewachsenen Halbleiterschicht verbessert.

In Fig. 3 ist eine schematische Ansicht einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsform einer Vorrichtung zum Aufwachsen aus der Gasphase dargestellt. In dieser Ausführungsform nimmt der Durchmesser des Reaktors 1 in dem Abschnitt, der die Aufnahmeeinrichtung 3 umgibt, in einem zunehmend wachsenden Maße von oben nach unten gerichtet zu. Fig. 4 zeigt eine Ausführungsform, in der ein zusätzliches Leitrohr 10 im Reaktor 1 enthalten ist, dessen Durchmesser in einer zunehmend wachsenden Weise von seinem oberen Ende nach unten zunimmt. Diese Ausführungsform ist noch vorteilhafter als die in Fig. 2 dargestellte Vorrichtung, da eine größere Menge des ein Ausgangsmaterial enthaltenden Gases nahe an der Oberfläche der Aufnahmeeinrichtung vorbeifließt, wodurch eine noch bessere Ausnutzung des Ausgangsmaterials erreicht wird.

Die Fig. 5 und 6 zeigen weitere Beispiele für die Ausgestaltung der Aufnahmeeinrichtung 3. Die in Fig. 5 gezeigte Aufnahmeeinrichtung besteht aus einem konischen Leitabschnitt 4 und einem Substrat-Halteabschnitt 5 mit polygonaler Pyramidenform. Bei der in Fig. 6 gezeigten Aufnahmeeinrichtung sind sowohl der

Leitabschnitt 4 als auch der Substrat-Halteabschnitt 5 konusförmig ausgebildet. Der Durchmesser der Aufnahmeeinrichtung 3 zur Verwendung einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann sich auf verschiedene Weise ändern. Er kann sich beispielsweise kontinuierlich oder stufenweise in einem zunehmend anwachsenden Maß von der Spitze der Aufnahmeeinrichtung nach unten vergrößern. Alternativ kann sowohl der Leitabschnitt 4 als auch der Halteabschnitt 5 im Durchmesser konstant zunehmen oder es kann der Durchmesser einer der beiden Abschnitte in zunehmend wachsendem Maße von seinem oberen Ende nach unten gerichtet, zunehmen. Diese Ausführungsformen können auf verschiedene Weisen miteinander kombiniert werden, solange der Durchmesser des Halteabschnitts 5 in einem stärkeren Maß zunimmt als der des Leitabschnitts 4.

Ein Substrat wird auf dem Substrat-Halteabschnitt 5 in einem Winkel von  $15^\circ$  bis  $80^\circ$  angeordnet, vorzugsweise von  $20^\circ$  bis  $75^\circ$  und insbesondere bevorzugt von  $35^\circ$  bis  $70^\circ$ , bezogen auf die horizontale Ebene.

Die Gleichmäßigkeit der Geschwindigkeit des Schichtwachstums mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird auf folgende Weise untersucht. Die bei diesem Versuch verwendete Aufnahmeeinrichtung 3 hat eine oktagonale Pyramidenform, die vergleichbar ist mit der in der Vorrichtung gemäß Fig. 3 verwendeten Aufnahmeeinrichtung. Sie besteht aus einem Leitabschnitt 4 mit einer Höhe von 120 mm und einem maximalen Durchmesser von 84 mm und einem Substrat-Halteabschnitt 5 mit einer Höhe von 120 mm und einem maximalen Durchmesser von 200 mm. Auf den schrägen Flächen des Halteabschnitts 5 werden 8 GaAs-Substrate mit einem Durchmesser von ca. 5 cm (2 Zoll) angeordnet. Trimethyl-Gallium (TMG) als ein Material oder eine Verbindung der Gruppe III und Arsin ( $\text{AsH}_3$ ) als ein Material oder eine Verbindung der Gruppe V werden mit hochreinem Wasserstoff verdünnt und die sich ergebenden Gase der Ausgangsmaterialien (TMG molarer Anteil  $= 1,1 \times 10^{-5}$  Mol/l;  $\text{AsH}_3$ /TMG molares Verhältnis  $= 30/1$ ) werden in den Reaktor 1 durch einen Einlaß 2 eingeleitet. Die GaAs-Substrate werden durch Aufheizen der Aufnahmeeinrichtung 3 auf einer Temperatur von  $650^\circ\text{C}$  gehalten, so daß dünne Epitaxial-Schichten aus GaAs aufwachsen und einen Halbleiter auf den Substraten bilden. Die Ergebnisse dieses Versuches zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase sind in Fig. 7 dargestellt. Zum Vergleich werden epitaxiale Schichten von GaAs unter den gleichen Bedingungen wie sie zuvor beschrieben wurden, unter Verwendung der bekannten, in Fig. 1 dargestellten Vorrichtung gebildet. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Fig. 7 gezeigt. Auf der Abszisse des in Fig. 7 gezeigten Diagramms ist der Abstand von dem in Stromrichtung gesehen vorne liegenden Ende eines Substrats gemessen entlang einer Linie, die dieses Ende mit dem von dem in Stromrichtung gesehen hinteren Ende des Substrats verbindet, aufgetragen und entlang der Ordinate ist die Geschwindigkeit des Dickenwachstums für jeden der Punkte auf der Abszisse aufgetragen. Wie Fig. 7 zeigt, erzeugt die bekannte faßartige Vorrichtung zum Aufwachsen einer dünnen Halbleiter-Schicht aus der Gasphase große Unterschiede zwischen den Geschwindigkeiten des Dickenwachstums auf den in Stromrichtung gesehen vorderen und hinteren Abschnitten der Substrate und die Variation [(Standardabweichung/Mittelwert)  $\times 100$ ] beträgt ungefähr 10,0%. Im Gegensatz dazu erzeugt die erfindungsgemäße Vorrichtung eine wesentlich kleinere Differenz

und die Variation beträgt lediglich ungefähr 2,3%. Dies stellt eine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik um einen Faktor von ungefähr 5 dar. Der Mittelwert der Dickenwachstums-Geschwindigkeit beträgt mit der bekannten Vorrichtung ungefähr 0,8  $\mu\text{m/h}$  und mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ungefähr 1,0  $\mu\text{m/h}$ . Die Verbesserung beträgt somit ungefähr 25%. Aus dem Vorstehenden wird deutlich, daß die erfindungsgemäße Vorrichtung zusätzlich zur Gleichmäßigkeit der Wachstumsgeschwindigkeit eine Verbesserung der Ausnutzung des Ausgangsmaterials erzielt.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die erfindungsgemäße Vorrichtung in vorteilhafter Weise das Wachstum einer Epitaxial-Schicht mit gleichmäßiger Dicke auf Substraten bewirkt, wobei eine bessere Ausnutzung des Ausgangsmaterials erzielt wird.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Aufwachsen von Stoffen aus der Gasphase mit einem Reaktor (1), der oben einen Einlaß (2) zum Einbringen eines Ausgangsstoffe aufweisenden Gase und eine Aufnahmeeinrichtung (3) aufweist, die im in Strömungsrichtung gesehen hinteren Abschnitt des Reaktors (1) angeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmeeinrichtung im wesentlichen eine konische oder polygonale Pyramidenform aufweist mit einem oberen Leitabschnitt (4) und einem unteren Substrat-Halteabschnitt (5), wobei der Durchmesser der Aufnahmeeinrichtung (3) in ihrem unteren Abschnitt in einem größeren Maß zunimmt als in ihrem oberen Abschnitt.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Durchmesser des Reaktors (1) in einem Abschnitt, der die Aufnahmeeinrichtung (3) umgibt, von oben nach unten gerichtet, in einem zunehmend wachsenden Maß zunimmt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei ein Leitrohr (10), im Reaktor (1) angeordnet ist, dessen Durchmesser von oben nach unten in den Abschnitt, der die Aufnahmeeinrichtung (3) umgibt, gerichtet in einem zunehmend wachsenden Maß zunimmt.

3838164

1/6

Nummer:  
Int. Cl.4:  
Anmeldetag:  
Offenlegungstag:

38 38 164  
C 23 C 16/44  
10. November 1988  
24. Mai 1989

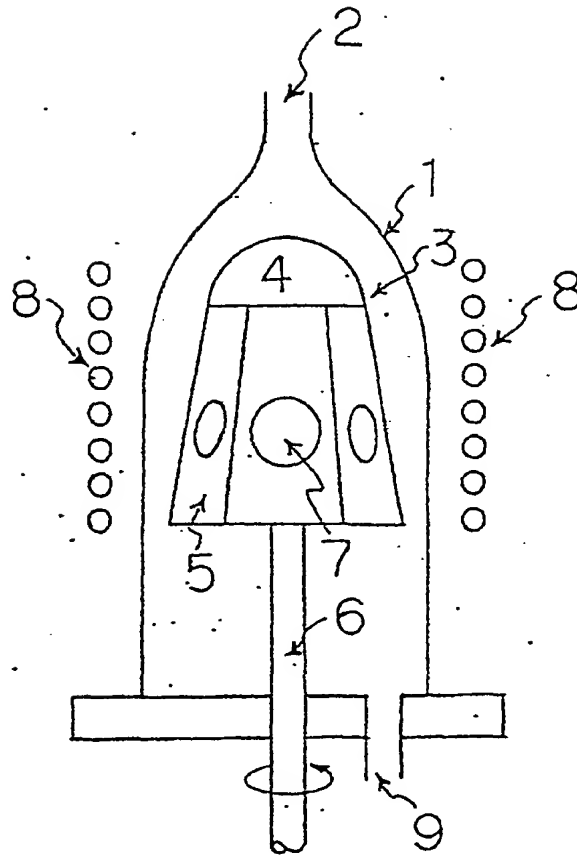


FIG. 1

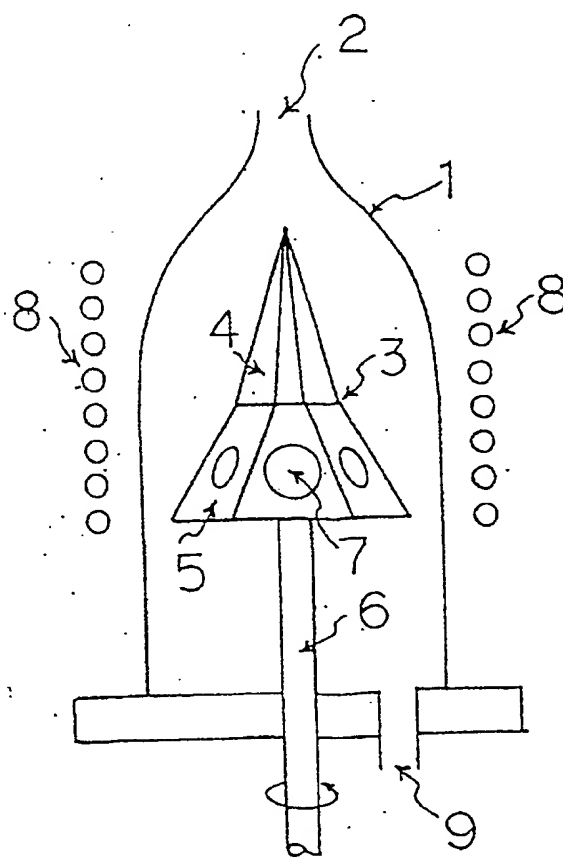


FIG. 2



10 1 88

3/6

13

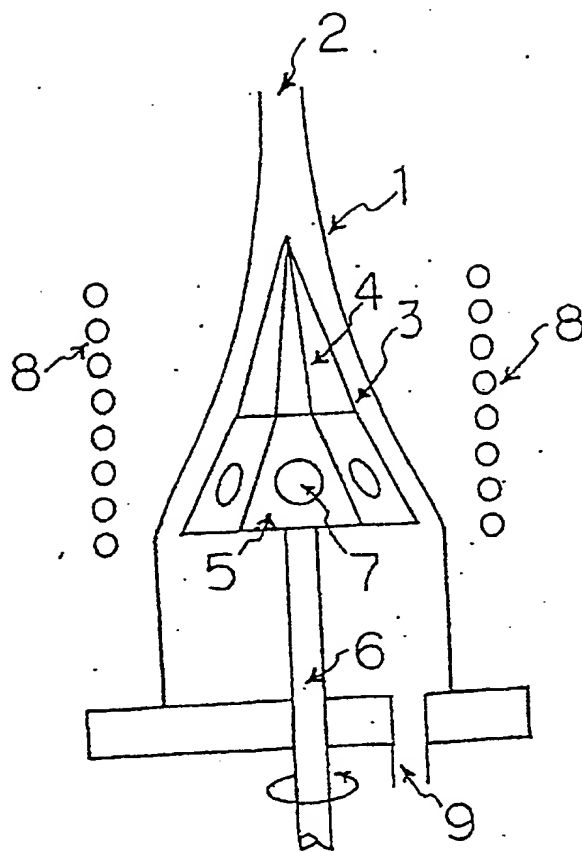


FIG. 3

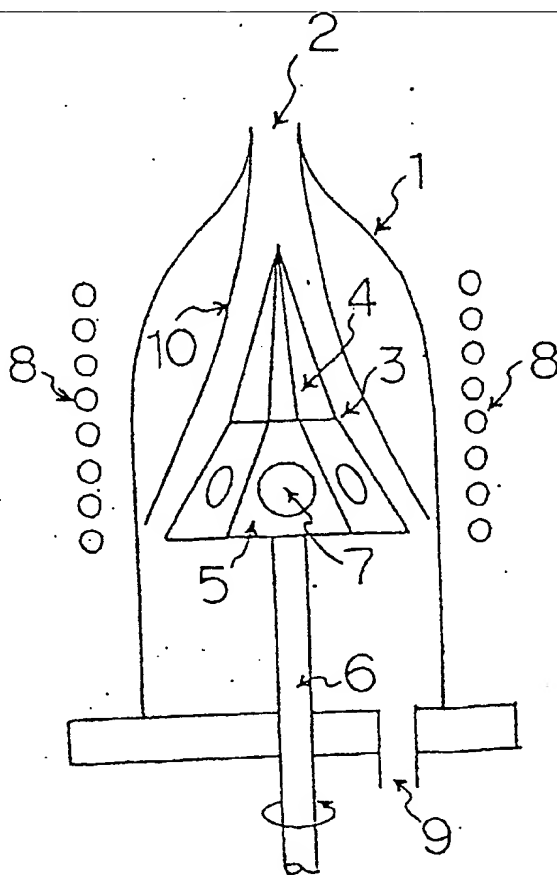


FIG. 4

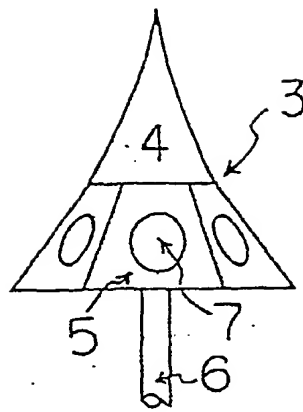


FIG. 5

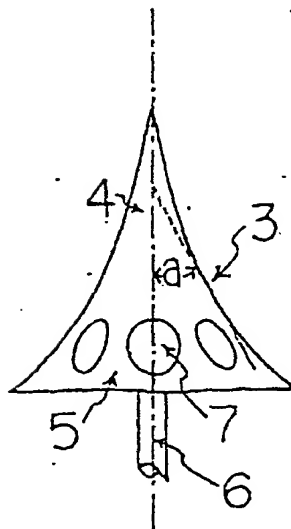


FIG. 6

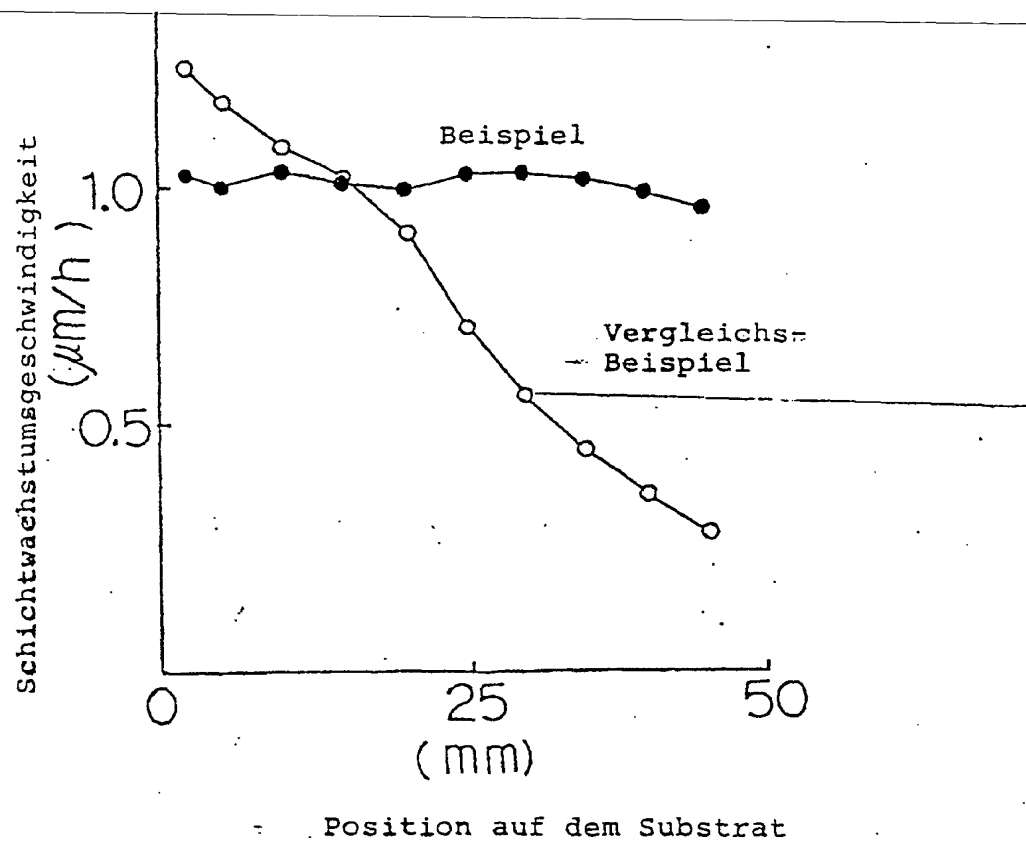


FIG. 7